EPIX - Electrónica impresa flexible aplicada a la seguridad industrial

Guía metodológica

FUNDACIÓN PRODINTEC

FÁBRICA DE FUTURO

Equipo de proyecto, redacción y coordinación:

Alejandro Ares

Raquel Casal

René Camblor

Néstor De Juan

Carmen Fernández

Pelayo Pérez

Blas Puerto

Ángel M. Sampedro

Paula Sánchez-Friera

Fundación PRODINTEC

Parque Científico-Tecnológico de Gijón, zona INTRA

Av Jardín Botánico 1345

33203 Gijón, Asturias

Teléfono: +34 984390060

Patrocinio:

Proyecto cofinanciado por el Centro Municipal de Empresas Gijón

IMPULSA EMPRESAS, INCENTIVOS AL ECOSISTEMA DE DESARROLLO EMPRESARIAL MUNICIPIO DE GIJÓN

Número de expediente: 1803A/2016

Guía metodológica del proyecto EPIX Electrónica impresa flexible aplicada a la seguridad industrial v1.0 by Fundación PRODINTEC is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

Contenidos

Prólogo 8

1. Tecnologías de electrónica impresa 11
1.1 Electrónica impresa: ¿qué es? 11
1.2 Procesos de fabricación roll-to-roll 13
1.3 Procesos de recubrimiento 15
1.3.1 Blade coating 15
1.3.2 Wire coating 16
1.3.3 Spray coating 17
1.3.4 Slot-die coating 18
1.4 Procesos de impresión 19
1.4.1 Impresión por huecograbado 19
1.4.2 Impresión ink-jet 21
1.4.3 Impresión serigráfica 23
1.5 Procesos de curado / sinterizado 24
1.5.1 Curado ultravioleta 24
1.5.2 Curado térmico 24
1.5.3 Curado fotónico 25
1.6 Posicionamiento de microcomponentes 25
1.6.1 Pick&place 25
1.6.2 Die bonder / thermode 26

2. Aplicación al sector de la seguridad industrial 28
2.1 Equipos de protección individual 28
2.2 Estado del arte 30
2.3 Seguridad industrial con electrónica impresa integrada 36
2.3.1 Productos de seguridad integral susceptibles de integrar electrónica impresa 36
2.3.2 Tendencias del mercado 37

3. Diseño de EPIS con integración de electrónica impresa 40

4. Casos prácticos 48
4.1 Chaleco salvavidas 48
4.1.1 Diseño del circuito 48
4.1.2 Impresión del prototipo 50
4.1.3 Colocación de componentes 51
4.1.4 Aumento de rigidez 52
4.1.5 Validación 53
4.1.6 Integración en prototipo final 54
4.2 Casco con detectores de gases 55
4.2.1 Diseño del circuito 55
4.2.2 Impresión del prototipo 57
4.2.3 Colocación de componentes 57
4.2.4 Validación 58
4.2.6 Integración en prototipo final 59

Bibliografía 61

Índice de figuras

Figura 1: Ejemplos de circuitos electrónicos impresos....12
Figura 2: Ejemplos de aplicaciones de la electrónica impresa....14
Figura 3: Vista de la línea roll-to-roll de PRODINTEC....16
Figura 4: Sistema de recubrimiento blade-coating....18
Figura 5: Sistema de recubrimiento wire-coating....19
Figura 6: Sistema de recubrimiento por spray....20
Figura 7: Sistema de recubrimiento por slot-die....21
Figura 8: Impresión por huecograbado....22
Figura 9: Impresión ink-jet drop-on-demand piezoeléctrica....24
Figura 10: Impresión por serigrafía plana....26
Figura 11: Impresión por serigrafía rotativa....27
Figura 12: Posicionamiento de componentes por pick&place....29
Figura 13: Novedades presentadas por 3M en SICUR 2016....38
Figura 14: Novedad presentada por FARAONE SISTEMAS DE ELEVACIÓN en SICUR 2016....38
Figura 15: Novedad presentada por IRUDEK GROUP en SICUR 2016....39
Figura 16: Novedad presentada por NUEVA SIBOL en SICUR 2016....40
Figura 17: Novedad presentada por PETZL en SICUR 2016....41
Figura 18: Novedad presentada por UNIVET en SICUR 2016....41
Figura 19: Propuesta de diseño conceptual chaleco salvavidas....49
Figura 20: Propuesta de diseño conceptual casco con sensores integrados....50
Figura 21: Propuesta de diseño conceptual arnés de seguridad....51
Figura 22: Propuesta de diseño conceptual brazalete multisensor....52

Figura 23: Propuesta de diseño de detalle chaleco salvavidas....53
Figura 24: Propuesta de diseño de detalle casco con sensores integrados....54
Figura 25: Esquemático de conexión del circuito diseñado....59
Figura 26: Diseño del circuito final a imprimir....59
Figura 27: Circuito impreso tras proceso de impresión y sinterizado....60
Figura 28: Robot pick&place preparado para colocar un componente....61
Figura 29: Circuito flexible con los componentes colocados....62
Figura 30: Prueba del circuito previa a su integración en el chaleco salvavidas....63
Figura 31: Chaleco salvavidas con alarmas luminosas....64
Figura 32: Esquemática del circuito diseñado para el casco....66
Figura 33: Diseño del circuito impreso del casco....66
Figura 34: Circuito impreso tras proceso de serigrafía....67
Figura 35: Circuito flexible con los componentes colocados....67
Figura 36: Prueba del circuito final....68
Figura 37: Prototipo final de casco con sensores de gases....69

Prólogo

Prólogo

Esta publicación surge del proyecto EPIX, cuyo objetivo general es acercar la electrónica impresa al sector industrial de Gijón y dar a conocer el gran potencial de esta novedosa tecnología mediante su implementación en productos específicos del ámbito de la seguridad industrial.

La electrónica impresa o flexible es una tecnología que permite producir dispositivos y circuitos electrónicos mediante procesos de impresión convencional (flexografía, huecograbado, inkjet o serigrafía) sobre cualquier tipo de superficie, rígida o flexible, y de gran área. Además de la flexibilidad, esta tecnología se caracteriza por su ligereza, bajos costes de producción, fiabilidad, robustez, y bajos consumos energéticos, entre otras propiedades.

El proyecto EPIX ha servido para demostrar cómo todas estas propiedades otorgan a los diseñadores la capacidad de incluir tecnologías y funcionalidades en nuevos productos dando lugar a componentes innovadores, inalámbricos, interactivos, finos y ligeros. Así, en el marco del proyecto se han abordado los diseños y la fabricación de prototipos de novedosos equipamientos de protección de trabajadores, integrándose la electrónica impresa flexible en diferentes prendas laborales, complementos o elementos en contacto con el propio trabajador, de manera que interactúen con el usuario y con otros dispositivos con el propósito de minimizar los riesgos de la actividad industrial.

El proyecto ha abordado nuevos conceptos innovadores y altamente competitivos en diseño y fabricación de electrónica impresa flexible aplicada a la seguridad industrial, de tal manera que, quedando encuadrado dentro de la línea de actuación de MILLA DEL CONOCIMIENTO en la estrategia “IMPULSA EMPRESAS”, ha generado nuevos conocimientos disponibles para ser transfe-

ridos y utilizados por diferentes actores y agentes de la Milla. La localización de PRODINTEC dentro de dicha Milla del Conocimiento y el bagaje del Centro en proyectos previos en la temática objeto de estudio son una garantía para conseguir el efecto dinamizador deseado y un mayor fomento de la transferencia de la tecnología.

Por otro lado, se espera que los resultados del proyecto contribuyan a la implantación del nuevo concepto de Industria 4.0 en el municipio, gracias al impulso de la electrónica impresa como tecnología facilitadora, permitiendo el desarrollo de productos para optimizar la monitorización, la comunicación y el análisis de datos, en el ámbito de la seguridad industrial, todos ellos aspectos clave en el nuevo modelo hacia el que avanza la industria europea.

01.Tecnologías de electrónica impresa

Tecnologías de electrónica impresa

1.1 - Electrónica impresa: ¿qué es?

La electrónica impresa o flexible es una tecnología de fabricación que permite producir dispositivos y circuitos electrónicos mediante procesos de impresión sobre distintos tipos de superficies rígidas o flexibles.

Los primeros avances en el campo de la electrónica flexible datan de los años 60 con el desarrollo de los primeros prototipos de células solares [1]. Los posteriores avances en técnicas de fabricación y descubrimientos en propiedades de materiales harían que a mediados de los 90 se comenzasen a desarrollar los primeros circuitos flexibles empleando transistores de capa fina.

En los últimos años y gracias al estudio y desarrollo de nuevos materiales la electrónica impresa ya no es solo una tecnología experimental. A día de hoy ya se puede considerar una realidad que abre múltiples posibilidades y que tiene un gran potencial, ya que permite otorgar nuevas funcionalidades y propiedades diferenciales a muchos productos que ya se encuentran en el mercado. Entre estas características hay que mencionar: la flexibilidad, la facilidad de integración, la capacidad para adaptarse a entornos muy diferentes, y el coste o la escalabilidad a grandes formatos. Estas propiedades hacen que la electrónica impresa tenga el potencial necesario para convertirse en una tecnología rompedora en un gran número de aplicaciones. Se espera que el desarrollo de esta técnica permita imprimir elementos como resistencias, condensadores, bobinas, transistores y todos los componentes electrónicos presentes en los circuitos convencionales sobre soportes muy diversos, como tejidos o plásticos.

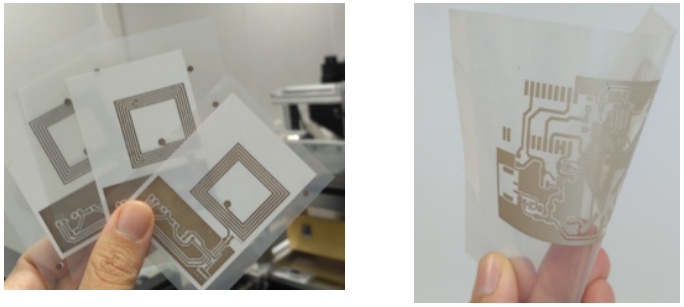


Figura 1 - Ejemplos de circuitos electrónicos impresos

Figura 2 - Ejemplos de aplicaciones de productos fabricados con tecnologías de electrónica impresa

Los procesos de fabricación asociados presentan como principal atractivo un enorme potencial de reducción de costes frente a procesos de fabricación convencionales, debido principalmente a la posibilidad de alcanzar tasas muy elevadas de productividad. Son especialmente aptos para la fabricación de productos de gran superficie, como los sistemas de iluminación, los displays o las células fotovoltaicas, o bien productos de área más reducida pero de alta demanda y grandes volúmenes de producción, como pueden ser las etiquetas RFID o algunos tipos de sensores.

Una de las aplicaciones con un mayor potencial, de cara al futuro, de las tecnologías de electrónica impresa es la fabricación de productos de iluminación. Las pantallas luminosas ligeras y flexibles suponen un producto muy atractivo en los sectores de automoción, construcción e industrial, ya que requieren poco espacio, son potencialmente más económicas, incluyen múltiples funcionalidades, y ofrecen un elevado grado de libertad para satisfacer los requisitos de los diseñadores. Otras aplicaciones se encuentran en el campo de la energía con la fabricación de células solares y baterías flexibles. El sector biosanitario puede ser también uno de los grandes beneficiarios del uso de esta tecnología a través del desarrollo de productos lab-on-a-chip o mini-laboratorios, dispositivos capaces de realizar ensayos clínicos de una forma eficiente y a bajo coste. Otros tipos de sensores utilizados como soluciones avanzadas en el empaquetado de productos, o en dispositivos integrados en la vestimenta (wearables) están también haciendo un uso cada vez más amplio de estas tecnologías.

Las demandas actuales del mercado se centran en tener productos de dimensiones cada vez más reducidas, lo cual requiere contar con sistemas de fabricación cada vez más precisos que sean capaces de fabricar elementos a la escala demandada. Estas precisiones, cuando se transmiten a líneas de fabricación industriales de determinado tamaño empiezan a suponer un problema, convirtiéndose este aspecto en un punto a tener en cuenta en la optimización de los procesos. Para contar con las precisiones demandadas por los productos se hace necesario poder controlar la estabilidad del sustrato, dado que éste puede ser un elemento con varios metros de longitud. El mantener la estabilidad de un elemento flexible a lo largo de distancias de metros no es un

aspecto trivial y supone, en ocasiones, un problema de precisión en los productos fabricados mediante estas tecnologías.

Otro punto clave a tener en cuenta es la tendencia a una elevada adaptabilidad de los procesos de fabricación. Los productos cambian rápido, o sufren modificaciones para adaptarse a las demandas del mercado. En esta línea, los procesos productivos deben tener la capacidad de adaptarse a fabricar diferentes elementos, o a implementar de forma rápida, sencilla y económica modificaciones en los productos finales. La electrónica impresa es idónea para satisfacer las necesidades de elevada adaptabilidad de los productos y procesos.

1.2 - Procesos de fabricación roll-to-roll

La fabricación de componentes electrónicos flexibles puede realizarse utilizando tecnologías roll-to-roll que hacen uso del hecho de que los sustratos sean flexibles. En las plataformas de fabricación roll-to-roll, se suministra el sustrato en forma de bobina y tras pasar por diferentes estaciones de trabajo, vuelve a bobinarse a la finalización del proceso. En las estaciones de trabajo se depositan y curan distintos materiales y/o componentes rígidos para la fabricación del circuito. Las estaciones se integran en línea y deben estar todas ellas perfectamente sincronizadas entre sí, para facilitar un buen ajuste entre las distintas capas y componentes del dispositivo. La configuración de la línea es variable y pueden añadirse nuevos módulos o cambiar su orden según los requisitos del producto a fabricar.

La Fundación PRODINTEC cuenta con una línea piloto de fabricación roll-to-roll, que es el resultado del proyecto europeo del 7º Programa Marco Light Rolls. La línea está diseñada para la fabricación en masa de productos de alta tecnología sobre materiales de bajo coste. Entre las aplicaciones de esta tecnología figuran la fabricación de dispositivos microelectrónicos sobre sustratos flexibles, circuitos electrónica impresa, iluminación general difusa (basada en LEDs/OLEDs), células fotovoltaicas orgánicas, etc.

Actualmente, la plataforma de fabricación roll-to-roll de PRODINTEC cuenta con módulos de impresión (inkjet, serigrafía, huecograbado), recubrimiento (slot-die, doctor blade, wire coating, spray), curado (ultravioleta, fotónico, térmico), y posicionamiento de componentes (pick&place).

Además, la plataforma incorpora

Figura 3. Vista de la línea roll-to-roll de PRODINTEC

un sistema de control multi-variable para corregir posibles desplazamientos laterales y longitudinales del substrato, mediante micro-desplazamientos en la dirección transversal y un ajuste automático de la velocidad de rotación en los motores que producen el movimiento en la dirección longitudinal. Este control es clave para la fabricación de dispositivos de gran área.

El funcionamiento global de la línea está controlado por una aplicación avanzada de control de procesos, que implementa la recogida de datos de proceso en tiempo real o fuera de línea, la visualización del flujo de trabajo, las acciones y correcciones realizadas y el tratamiento de datos para el análisis de correlaciones con el objetivo de optimizar el proceso de producción. Por otro lado, la línea cuenta también con un sistema de ejecución de la producción (MES), que controla el funcionamiento de los equipos, contiene una central de recetas de fabricación y gestiona la integración de los equipos con los módulos principales de la línea.

A continuación se describen en detalle cada uno de estos procesos y las posibilidades que ofrecen.

1.3 - Procesos de recubrimiento

Los procesos de recubrimiento o coating se basan en la aplicación de una capa fina y uniforme de material sobre el sustrato, sin patrones específicos. Estas capas pueden tener diferentes funciones en el producto, actuando como capas aislantes; electrodos; capas activas por ejemplo en dispositivos electroluminiscentes o electrocrómicos; o recubrimientos protectores.

1.3.1 - Blade coating

También denominada knife coating o doctor blade coating, esta técnica se basa en depositar una gran cantidad de fluido sobre el sustrato y a continuación retirar el exceso con una cuchilla, tal y como se muestra en la figura. El espesor de la capa se controla ajustando el gap o distancia entre la cuchilla y el sustrato así como la velocidad de la línea. También dependerá de las propiedades de la tinta (tensión superficial, viscosidad, temperatura) y del sustrato (tensión superficial).

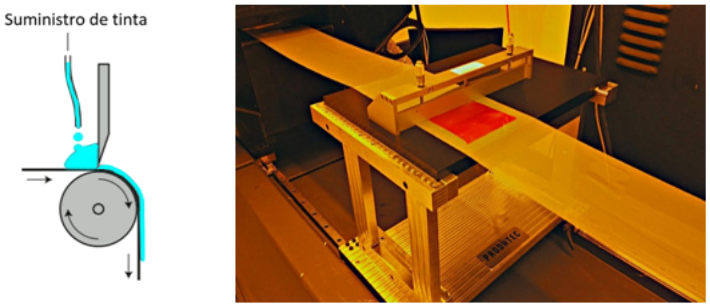


Figura 4: Sistema de recubrimiento blade-coating

1.3.2 - Wire coating

La técnica de wire-coating, también denominada wire-bar o Meyer coating, es adecuada para recubrimientos de bajos espesores, con tintas con viscosidades entre 200 y 1000 cp. Al igual que en el blade coating, se aplica tinta en exceso que posteriormente se elimina, en este caso mediante un rodillo que permite ajustar el espesor del recubrimiento. El espesor será función de las dimensiones de las cavidades que quedan entre cada vuelta del alambre sobre el rodillo. Los rodillos se denominan por el diámetro del alambre que llevan enrollado, a mayor diámetro, mayor es la cavidad que dejan entre vueltas y por tanto mayor será el espesor de la capa depositada.

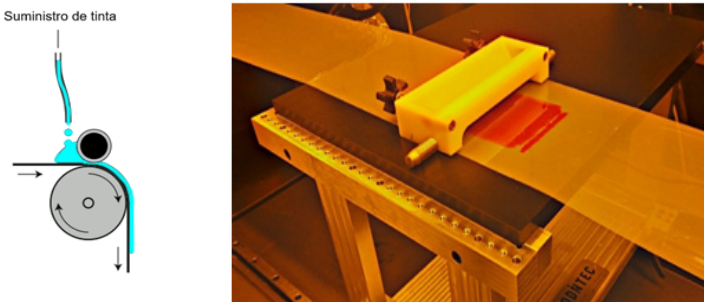


Figura 5: Sistema de recubrimiento wire-coating

1.3.3 - Spray coating

Esta tecnología se utiliza ampliamente a nivel industrial por ejemplo para el pintado de automóviles. La tinta es atomizada en la boquilla del cabezal, lo que genera un flujo continuo de gotas. Los sistemas son generalmente neumáticos, basados en una corriente de aire comprimido que rompe el fluido en gotas, aunque también existen otros sistemas de spray basados en ultrasonido o electrospray.

En el spray coating convencional, los parámetros de proceso principales son la tensión superficial, viscosidad, densidad del fluido, propiedades del flujo de gas y diseño del inyector. La calidad de la capa depositada dependerá de la mojabilidad del sustrato, la velocidad del proceso, el tamaño de la gota, etc. Además de la interacción fluido-superficie es importante el comportamiento cinético de las gotas. La temperatura también juega un papel importante.

La ventaja de esta tecnología es su elevada productividad y la baja cantidad de residuos que genera (cuando se usa como recubrimiento sin patrones o máscaras.

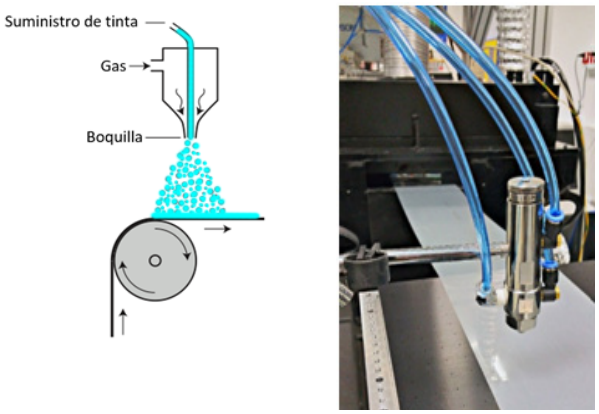


Figura 6: Sistema de recubrimiento por spray

1.3.4 - Slot-die coating

La tecnología de recubrimiento por slot-die coating permite depositar films con elevada uniformidad, con tintas con un amplio rango de viscosidades desde 1 mPa hasta varios miles de Pa, alcanzando velocidades de línea de hasta 600 m /min. El sistema contiene una cámara donde se mantiene el fluido a depositar a una temperatura dada. El fluido se expulsa a través de una ranura (slot) mediante una bomba de desplazamiento positivo, de forma que queda distribuido uniformemente sobre el sustrato. El espesor se controla a través del flujo de material y la velocidad del sustrato.

El cabezal se fabrica en general de acero inoxidable de alta calidad para lograr una buena estabilidad dimensional. Además de la cámara, el cabezal contiene un sistema de distribución de la tinta a lo largo de la ranura. El diseño se ha de adaptar a la reología de la tinta para conseguir resultados óptimos. Se puede utilizar una máscara interna que permite la fabricación de ciertos patrones sencillos como franjas, alternando zonas con y sin depósito de material. Al ser un sistema cerrado se evita la emisión de componentes volátiles al ambiente.

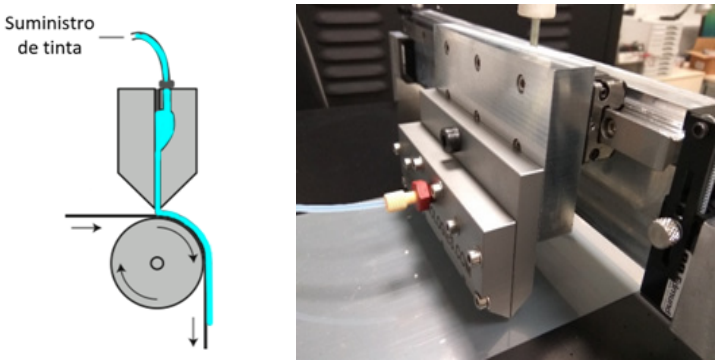


Figura 7: Sistema de recubrimiento por slot-die

1.4 - Procesos de impresión

Existen varias tecnologías para la impresión funcional de materiales activos sobre distintos sustratos mediante tecnologías roll-to-roll, para un amplio rango de aplicaciones en el ámbito de la electrónica impresa y de gran área [2]. Las principales tecnologías de impresión roll-to-roll utilizadas son el huecograbado, la serigrafía y la impresión ink-jet. A diferencia de los métodos de recubrimiento, mediante la impresión es posible transferir la tinta sólo en las zonas de interés produciendo así distintos patrones sobre el sustrato.

1.4.1 - Impresión por huecograbado

La impresión por huecograbado es una técnica de impresión rotativa en la que el motivo a imprimir se transfiere desde un cilindro de huecograbado hasta el sustrato. El motivo se encuentra previamente grabado mediante láser sobre el cilindro de huecograbado, estando compuesto por una serie de pequeñas celdas. El cilindro de huecograbado al girar pasa por un baño de tinta, de modo que todas las celdas se rellenan de tinta, siendo el exceso retirado con una cuchilla denominada doctor blade. Al girar el cilindro sobre el sustrato la tinta se transfiere al mismo, con la ayuda de un cilindro de impresión que genera la presión necesaria para que se produzca la transferencia de tinta.

El huecograbado presenta numerosas ventajas en comparación con otras tecnologías de impresión, como su elevada velocidad (de hasta 15 m/s), su precisión (ofrece la posibilidad de imprimir motivos con dimensiones de hasta 20 micras y espesores entre 0,1 y 10 micras), y el amplio rango de tintas utilizables, con tintas con viscosidad intermedia.

Como en todo método de impresión, para alcanzar una buena cobertura de la tinta y una buena adhesión al sustrato, es importante que la tensión superficial y polaridad de la tinta sean compatibles con la tensión superficial y polaridad del sustrato. El ángulo de contacto entre las gotas de tinta y el sustrato ha de ser óptimo para encontrar el compromiso adecuado entre lograr una buena cobertura pero evitar el

flujo excesivo para controlar la resolución. Para cada aplicación es necesario seleccionar la combinación correcta de materiales y tratamientos superficiales.

Otro parámetro crítico en la impresión por huecograbado es la configuración del cilindro, que determinará el volumen de tinta depositado por unidad de área de sustrato, y por tanto la opacidad, color y/o conductividad de las pistas impresas.

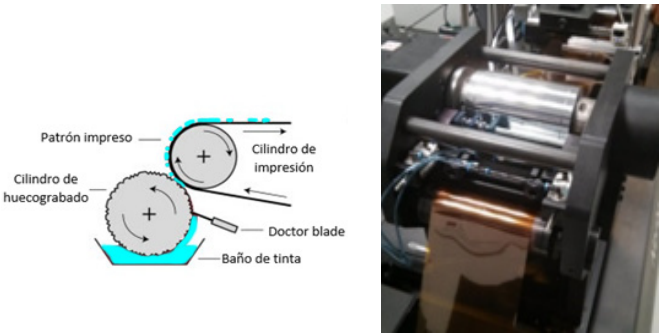


Figura 8: Impresión por huecograbado

1.4.2 - Impresión ink-jet

La impresión ink-jet se basa en la eyección controlada digitalmente de gotas de tinta desde un cabezal de impresión hasta un sustrato. Permite utilizar tintas con viscosidades muy bajas, por lo que no requieren la presencia de aglutinantes poliméricos. La mayoría de las impresoras ink-jet utilizadas hoy en día se basan en tecnología drop-on-demand (DOD), en la que las gotas se liberan a demanda según el patrón a imprimir. En las impresoras DOD las gotas se forman por la creación de pulsos de presión. Estos pulsos se pueden generar térmicamente, como en las impresoras de sobremesa (que se basan en la formación de pequeñas burbujas en la cámara del cabezal mediante la aplicación local de temperaturas muy elevadas que consiguen vaporizar la tinta), o bien utilizando cristales piezoeléctricos que sufren una distorsión al aplicar un campo eléctrico. La tecnología piezoeléctrica es la más utilizada a nivel industrial ya que permite el máximo grado de libertad para la elección de la tinta de impresión. Como desventaja está el coste elevado de los cabezales de impresión y hardware asociado.

Al imprimir pistas conductoras con este método de impresión se obtienen precisiones muy altas (pistas de anchura entre 10-50 micras), con lo que pueden realizarse diseños con una complejidad alta y sin precisar inversiones en utillajes o moldes. La velocidad de proceso es inferior a la alcanzable con técnicas como el huecograbado, pero aún así puede llegar a alcanzar valores elevados en el rango 1-5 m/s.

Las tintas conductoras para ink-jet pueden ser de base agua o base solvente. Las tintas de base solvente permiten conseguir muy buena calidad de impresión, durabilidad de la imagen, y además son compatibles con múltiples sustratos con tiempos de curado muy rápidos, por lo que han sido la formulación preferente durante años. Algunas desventajas son que requieren un mayor mantenimiento de los equipos (bloqueo de boquillas por secado de la tinta dentro de los cabezales) y que en muchos casos contienen productos tóxicos o poco deseables desde un punto de vista medioambiental [ ]. Las tintas de base agua son más respetuosas con el medioambiente, y son las más utilizadas en las aplicaciones de consumo (impresoras desktop), al ser además mucho más económicas y poder ser vaporizadas fácilmente en la impresión ink-jet térmica. En aplicaciones industriales son menos utilizadas debido a que requieren sustratos porosos o tratados específicamente para poder asegurar la adhesión de la tinta. Además, muchos cabezales industriales piezoeléctricos son incompatibles con tintas de base agua, aunque esto está cambiando ya que existe una demanda cada vez mayor de tintas con base agua.

En las tintas que contienen partículas, como es el caso de muchas tintas conductoras o activas, otro parámetro a tener en cuenta es el tamaño máximo de las partículas. Este aspecto no es crítico en la impresión por huecograbado o serigrafía, pero sí en el caso de la impresión ink-jet, en la que no se recomienda que el tamaño de partícula supere 1/50 del diámetro de la boquilla de los inyectores [ ].

Otra propiedad importante es el poder humectante o la mojabilidad de las tintas sobre los distintos sustratos de interés a utilizar. El poder humectante es la pro-

piedad de un líquido de expandirse adhiriéndose a la superficie de un sólido. Si la tinta no tiene suficiente poder humectante no se expandirá, dando lugar a una impresión discontinua en forma de gotas inconexas. El poder humectante depende de las fuerzas intermoleculares de los materiales en contacto: las fuerzas adhesivas entre el líquido y el sólido provocan que el líquido se extienda por la superficie, mientras que las cohesivas del líquido hacen que éste se contraiga y forme gotas evitando el contacto con la superficie. Para que se produzca una impresión correcta, la energía superficial del sustrato (tendencia para atraer la tinta) ha de ser superior a la tensión superficial de la tinta (tendencia a contraerse en gotas). Las tintas en base agua poseen una tensión superficial elevada que dificulta su impresión sobre sustratos no porosos. Es necesaria la adición de surfactantes que mejoren la mojabilidad de la tinta, y en algunos casos, se requiere además realizar tratamientos superficiales previos sobre los polímeros.

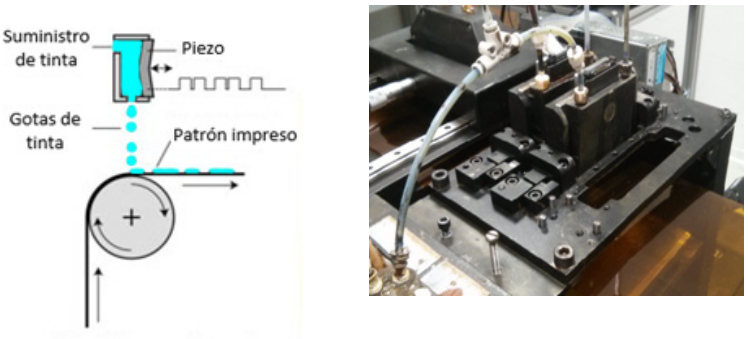


Figura 9: Impresión ink-jet drop-on-demand piezoeléctrica

1.4.3 - Impresión serigráfica

La impresión por serigrafía se basa en el arrastre de la tinta con una cuchilla o rasqueta (squeegee) para hacerla atravesar una pantalla tensada, que permite el paso de la tinta sólo en las zonas en las que se requiere, según la imagen previamente fijada sobre la pantalla mediante una emulsión. Las tintas o pastas de serigrafía poseen valores de viscosidad muy elevados (de hasta 50 Pa-s), por lo que en general requieren en su composición la presencia de aglutinantes poliméricos, además de solventes y partículas activas.

En la serigrafía plana la pantalla se mantiene estática y es la cuchilla la que se mueve arrastrando la tinta. La serigrafía rotativa funciona de un modo similar a la serigrafía plana, pero en este caso la pantalla es cilíndrica, la rasqueta está fija, y es la pantalla la que rota para hacer que la tinta recubra el área en la que está grabado el motivo a imprimir. La serigrafía rotativa permite realizar una impresión ininterrumpida y automatizada del diseño creado sobre los sustratos flexibles seleccionados, con velocidades elevadas en torno a 2 m/s. Las precisiones alcanzables están entre 75 y 100 micras, con espesores de capa en torno a 100 micras.

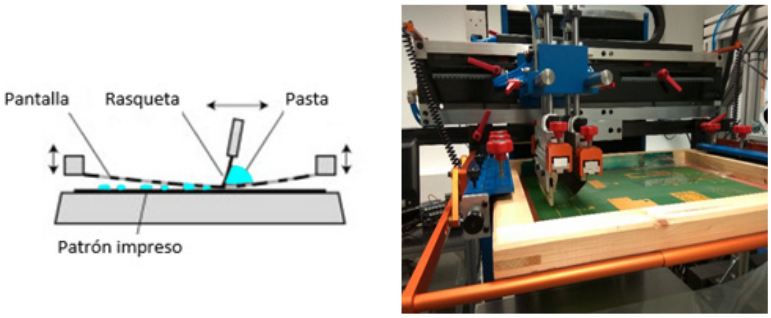


Figura 10: Impresión por serigrafía plana

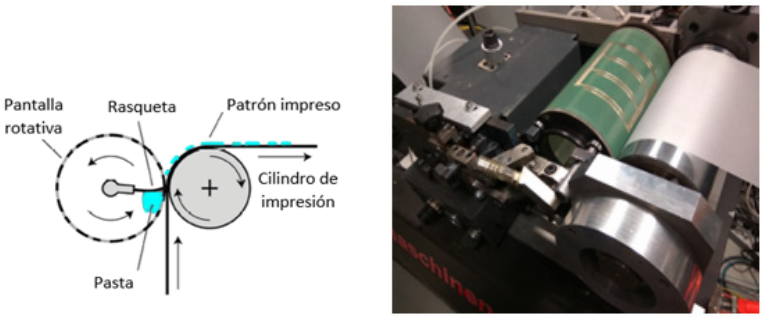


Figura 11: Impresión por serigrafía rotativa

1.5 - Procesos de curado / sinterizado

Las diferentes tintas activas o materiales que pueden ser depositados mediante las técnicas descritas anteriormente, requieren en general de un paso posterior de curado o sinterizado para lograr alcanzar sus propiedades funcionales. Existen diversas técnicas para curar o sinterizar distintos materiales, basadas en el aporte de energía en distintas formas.

1.5.1 - Curado ultravioleta

Uno de los métodos más utilizados habitualmente es el curado ultravioleta, que presenta numerosas ventajas como su bajo coste, alta productividad y fácil integración en líneas de procesado R2R. Como desventaja, está el hecho de que las tintas de curado ultravioleta requieren la presencia de monómeros, aglutinantes, fotoiniciadores y otros aditivos que reducen significativamente la conductividad de las pistas., hasta valores en torno a los 260 μΩ•cm (unas 160 veces el valor de la plata sólida).

1.5.2 - Curado térmico

Una alternativa al curado ultravioleta es el curado térmico, a través del cual se pueden mejorar significativamente los valores de resistividad de las pistas impresas, hasta en un orden de magnitud, alcanzando los 25 μΩ•cm. Sin embargo, este método no puede ser fácilmente adaptado a líneas de fabricación en continuo, resultando limitante el tiempo de curado (alcanzando típicamente 1 hora). Por otro lado, muchos sustratos textiles y poliméricos no pueden soportar las altas temperaturas requeridas para el sinterizado de tintas conductoras.

1.5.3 - Curado fotónico

La tecnología de curado fotónico se basa en aplicar pulsos de luz de alta intensidad y baja duración de modo que se logran alcanzar temperaturas elevadas de forma local en las pistas impresas sin elevar la temperatura del sustrato. Existen varias tecnologías disponibles hoy en día para llevar a cabo el curado fotónico, que permiten optimizar la frecuencia en intensidad de los pulsos de luz para lograr un sinterizado óptimo y maximizar así la conductividad a obtener con las tintas conductoras impresas.

1.6 - Posicionamiento de microcomponentes

El flujo de proceso continuo es una característica fundamental de la fabricación R2R que permite altos índices de rendimiento. Los procesos de impresión, recubrimiento y estructurado, pueden ser fácilmente realizados sobre un sustrato en movimiento. Por el contrario, la integración de componentes sobre el sustrato es intrínsecamente un proceso secuencial. La integración de pequeños componentes con tamaños inferiores a 1 mm requiere una alta precisión en el posicionamiento.

1.6.1 - Pick & place

Cuando se requiere realizar procesos R2R adicionales tras la integración de componentes, como puede ser laminado, impresión o deposición, el ensamblado ha de ser integrado en la línea R2R. Una de las opciones más utilizadas es el ensamblado tipo pick&place, basado en brazo robótico, que

permita la colocación automática y con elevada precisión de LEDs u otros componentes electrónicos, sobre los sustratos. PRODINTEC cuenta con un sistema de desarrollo propio basado en robot tipo Spider suspendido con sistema de visión integrado que permite su trabajo en modo "conveyor tracking", es decir, teniendo en cuenta el movimiento del sustrato en la generación de trayectorias en tiempo real. Una característica muy importante de este modelo es además su espacio de trabajo con forma circular, frente al modelo convencional de robot tipo SCARA en el que el espacio de trabajo tiene forma de U, con un elevado desaprovechamiento de espacio. El radio de este espacio de trabajo es de 350 mm y la repetitividad del robot en el posicionamiento es de 20 micras, proporcionando una elevada resolución y precisión en la colocación de componentes y dispensado de materiales.

Figura 12: Posicionamiento de componentes por pick&place

1.6.2 - Die bonder / thermode

Como complemento a los procesos en línea, PRODINTEC cuenta con un sistema die bonder fuera de línea de alta precisión para el ensablado de chips con dimensiones en torno a las 200 micras, basado en un sistema óptico y microposicionamiento manual. El equipo permite también el dispensado y curado de distintos tipos de adhesivos. Mediante un sistema thermode es posible también la aplicación de adhesivos anisotrópicos y su curado mediante la aplicación simultánea de presión y temperatura.

02. Aplicación al sector de la seguridad industrial

Aplicación al sector de la seguridad industrial

Con el presente proyecto se pretende dar a conocer el gran potencial de la tecnología de electrónica impresa en general y en el ámbito de la seguridad industrial en particular, ya que este es un ámbito de gran impacto en las organizaciones y las características de la electrónica impresa la hacen idónea para su integración en los elementos (equipo, herramientas, etc.) que contribuyen a garantizar una producción con el mínimo riesgo.

El fin último de la seguridad industrial es la prevención de riesgos y la protección contra accidentes capaces de producir daño a personas, medio ambiente, flora, etc. Para ello se hace uso de un amplio espectro de elementos que contribuyen a cumplir dicho fin, y que van desde elementos para la protección de los trabajadores, elementos para su monitorización médica, para la implementación de controles técnicos o incluso para la formación vinculada al control de riesgos.

2.1 - Equipos de protección individual

Se entiende por Equipo de Protección Individual (EPI) cualquier equipo destinado a ser llevado o sujetado por el trabajador para que le proteja de uno o varios riesgos que puedan amenazar su seguridad o su salud, así como cualquier complemento o accesorio destinado a tal fin. Tal y como se ilustra en la Figura 13, la variedad de EPIs es muy amplia: equipos para la protección visual (gafas de seguridad, Caretas de esmerilar y soldadura etc.), protección de cabeza (cascos), protección respiratoria (máscaras, tapabocas, etc.), protección corporal (arneses, botas, ropa, etc.), protección manual (guantes dieléctricos, guantes para trabajo pesado, etc.), protección auditiva (protectores auditivos, etc.), entre otros.

El valor añadido del proyecto EPIX se encuentra principalmente en la innovación tecnológica que supone la integración de la electrónica impresa en productos tradicionales como son los EPIs, a través de nuevos diseños que permiten obtener nuevos productos con funcionalidades mejoradas y, por tanto, con un mayor valor añadido, en el campo de la seguridad industrial.

Las aplicaciones pueden ser muy diversas, pudiendo basarse, por ejemplo, en la integración de sensores para la monitorización in-situ de ciertos parámetros directamente por el trabajador o la incorporación de displays u otros componentes electrónicos que interactúen con el entorno de trabajo.

El Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual, define un equipo de protección individual como «cualquier equipo destinado a ser llevado o sujetado por el trabajador para que le proteja de uno o varios riesgos que puedan amenazar su seguridad o su salud, así como cualquier complemento o accesorio destinado a tal fin», excluyendo los siguientes equipos:

- La ropa de trabajo y uniformes que no estén específicamente destinados a proteger la seguridad o salud.
- Los de los servicios de socorro y salvamento.
- Los de los militares, policías y servicios de mantenimiento del orden.
- Los de los medios de transporte por carretera.
- El material de deporte.
- El material de autodefensa o disuasión.
- Los aparatos portátiles para la detección y señalización de los riesgos y de los factores de molestia.

Los EPP o EPI, por tanto, comprenden todos aquellos dispositivos, accesorios y vestimentas de diversos diseños que emplea el trabajador para protegerse contra posibles lesiones. Los EPI han de cumplir los siguientes requisitos:

- Proporcionar máximo confort y su peso debe ser el mínimo compatible con la eficiencia en la protección.
- No debe restringir los movimientos del trabajador.
- Debe ser durable y de ser posible el mantenimiento debe hacerse en la empresa.
- Debe ser construido de acuerdo con las normas de construcción.
- Debe tener una apariencia atractiva.

Los EPI se clasifican en las siguientes categorías:

- Protección a la Cabeza (cráneo). Cascos de seguridad.
- Protección de Ojos y Cara. Anteojos, gafas de protección, caretas, máscaras de soldar.
- Protección a los Oídos. Tapones, orejeras.
- Protección de las Vías Respiratorias. Respiradores de filtro mecánico, respiradores de cartucho químico, máscaras de depósito, respiradores y máscaras con suministro de aire.
- Protección de Manos y Brazos. Guantes para la manipulación de materiales ásperos, guantes para revisar trabajos de soldadura o fundición donde haya el riesgo de quemaduras, guantes para trabajos eléctricos, guantes para manipular sustancias químicas.
- Protección de Pies y Piernas. Calzado para trabajos donde haya riesgo de caída de objetos contundentes, calzado aislante para trabajos eléctricos, calzado de goma para trabajos en medios húmedos, calzado para trabajos con metales fundidos o líquidos calientes, calzado para proteger las piernas contra la salpicadura de metales fundidos
- Cinturones de Seguridad para trabajo en Altura. Elementos de protección que se utilizan en trabajos efectuados a más de 1.8 metros de altura del nivel del piso: cinturón o arnés de seguridad enganchados a una línea de vida.
- Ropa de Trabajo. La ropa de trabajo no debe ofrecer peligro de engancharse o de ser atrapado por las piezas de las máquinas en movimiento. No se debe llevar en los bolsillos objetos afilados o con puntas, ni materiales explosivos o inflamables. Es obligación del personal el uso de la ropa de trabajo dotado por la empresa mientras dure la jornada de trabajo.
- Ropa Protectora. Es la ropa especial que debe usarse como protección contra ciertos riesgos específicos y en especial contra la manipulación de sustancias cáusticas o corrosivas: vestidos protectores y capuchones, mandiles de asbesto, traje de algodón aluminizado, mandiles de plomo.

2.2 - Estado del arte

Se ha realizado un estudio del estado del arte de productos existentes en la actualidad en el sector de seguridad industrial, de cara a seleccionar los más adecuados para utilizar como punto de partida en el rediseño del producto para la integración de elementos de electrónica impresa de cara a incrementar su funcionalidad.

Según ASEPAL, Asociación de Empresas de Equipos de Protección Individual, en España se invierten alrededor de 800 millones de € /año en EPI, lo que nos sitúa como el 5º país de Europa en inversión en este tipo de protección. El mercado cuenta con alrededor de 200 empresas especializadas entre fabricantes y distribuidores, de las cuales más de 80 son miembros asociados de ASEPAL.

3L INTERNACIONAL, S.A.	JHAYBER, S.A.
3M ESPAÑA, S.A.	JOMIBA, S.A.
ACCESORIOS PARA ELEVACIÓN Y TRANSPORTE,S.A.(ELYTRA)	JUBA PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT, S.L.
ADEEPI 2002, S.L.	LENARD BCN, S.L.
AITEX	LÍNEA DE SEGURIDAD, S.L.
AMEL TÉCNICA INDUSTRIAL, S.L.	LOGA REPRESENTACIONES, S.L.
ANSELL SPAIN, S.L.	MAPA SPONTEX IBERICA, S.A.
ASATEX PROTECCIÓN LABORAL, S.L.	MARCA PROTECCIÓN LABORAL, S.L.
BELLOTA HERRAMIENTAS, S.A.	MEDOP, S.A.
BRAMMER, S.A.	METALCO, S.A.U.
CALZADOS ROBUSTA, S.L.	METÁLICAS PLÁSTICAS JAR, S.L.
C.E.E. APTA, S.L.	MIGUEL MIRANDA, S.L.
CENTRO TECNOLÓGICO DEL CALZADO DE LA RIOJA	MOLDEX-METRIC AG&CO, KG
CHOIVA, S.L.	MSA ESPAÑOLA, S.A.U.
COFAN LA MANCHA, S.A.	NUEVA SIBOL, S.L.
CONFECCIONES ESTE, S.L.	OBREROL, S.A.
CONFECCIONES OROEL, S.L.	OMNI COMERCIAL, S.A.
CONFECCIONES SAMISA,S.L.	OPTOR, S.A.
CURTIDOS GALAICOS, S.L.	ORIGINAL BUFF, S.A.
DACAR COMERCIALIZACIÓN, S.L.	PACAL SHOES, S.L.

DEINSA	PERSONNA CENTRAL, S.A.
DESUL, S.L.	PETZL ESPAÑA, S.L.
DIVISION DE ANATOMICOS, S.L.	PEYCAR PONTEVEDRA, S.L.
DRÄEGER SAFETY HISPANIA, S.A.	PORTWEST CLOTHING, LTD
DUPONT PERSONAL PROTECTION DUPONT IBERICA, S.L.	PRODUCTOS CLIMAX, S.A.
EASY FOOTCARE, S.L.	PRODUCTOS ZVG ESPAÑA, S.A.
EJENDALS AB	PROIN PINILLA, S.L.
FAL CALZADOS DE SEGURIDAD, S.A.	RAMOS, SERVICIOS TÉCNICOS Y SUMINISTROS, S.L.
FRANCISCO MENDI, S.L.	R.G. PUBLICIDAD Y REGALOS DE EMPRESA, S.L.
GAMESYSTEM ESPAÑA, S.A.	RUBBEREX SPAIN, S.L.
GARMARYGA, S.L.	SAGRES, S.L.
GENERAL ÓPTICA, S.A.	SENTIL 2000, S.L.
GUANTES INDUSTRIALES MORÁN, S.L.	SHORTCUT EUROPEAN TEXTILE, S.L.
HIJOS DE ANTONIO GÁLVEZ, S.L.	SMH PRODUCTS, S.L.
HONEYWELL SAFETY PRODUCTS, S.A.	SUMINISTROS GURÍA, S.L.
INAIR VIES RESPIRATORIES S.L.U.	TOMÁS BODERO, S.A.
INDUSTRIAL STARTER ESPAÑA, S.L.	TRACTEL IBÉRICA, S.A.
INDUSTRIAL ZAPATERA, S.A.	UNIVET, S.R.L.
IRUDEK 2000, S.L.	VELILLA CONFECCIÓN INDUSTRIAL, S.A.
ITS SAFETY	VERTICAL, S.L.
ITURRI, S.A.	

Tabla 1: Miembros asociados de ASEPAL

http://www.asepal.es/frontend/asepal/base.php
http://www.asepal.es/frontend/asepal/noticia.php?id_noticia=203&id_seccion=22

Para el análisis del estado del arte, se ha prestado especial atención a las empresas que han tenido un papel relevante en el campo de la Seguridad Laboral en la última edición del Salón Internacional de Seguridad, SICUR 2016 y a los productos allí presentados:

1. 3M (Madrid): Empresa multinacional referencia en el sector, con delegación en España.

http://solutions.productos3m.es/wps/portal/3M/es_ES/PPE_SafetySolutions_EU/Safety/?WT.mc_id=www.3m.com/es/seguridad

- Sistema de Validación Auditiva Earfit™: mide la efectividad de los tapones y de las orejeras en el trabajador, con resultados cuantitativos y fiables en los dos oídos simultáneamente, para saber si la protección se ajusta correctamente a sus necesidades.
- Orejeras con dependencia de nivel, 3M™ PELTOR™ PROTAC III™: ayuda a proteger la audición y a mejorar la escucha del entorno y la comunicación en ambientes difíciles.cha del entorno y la comunicación en ambientes difíciles.

- Filtros con Indicador de Vida Útil (ESLI) 3MTM 6051i y 6055i: presentan una característica única en el mercado, avisan al usuario cuándo debe cambiar sus filtros una vez agotados.
- Equipo de Respiración Motorizado 3M™ TR600™: el producto más sofisticado en el campo de la protección respiratoria motorizada para filtro de gases, vapores y partículas.
- Filtro de Soldadura 3M™ 9100™: un filtro con mayores posibilidades en colores y contrastes para el soldador.

Figura 13: Novedades presentadas por 3M en SICUR 2016

2. FARAONE SISTEMAS DE ELEVACIÓN S.L.U. (Alcalá de Guadaira - Sevilla): Empresa dedicada a la fabricación de escaleras, andamios, plataformas elevadoras, palcos y escenarios.

http://faraone.es/

- Plataforma elevadora unipersonal autopropulsada: Carro autopropulsado de aluminio con altura de trabajo a 4 m. Compacto, ligero y fácil de usar. Conducción simple con mínimo radio de giro. Gira sobre sí mismo. Fácil apertura de la cesta para subir y bajar con comodidad.

Figura 14: Novedad presentada por FARAONE SISTEMAS DE ELEVACIÓN en SICUR 2016

3. IRUDEK GROUP (Ibarra - Guipuzcoa): Empresa especializada en equipos de protección y líneas de vida, protección contra caídas de altura en el trabajo. EPIS para protección auditiva y ocular, detectores de gas, equipos respiratorios, etc.

http://www.irudek.com/es-es

- Anticaídas de reposición automática IRUDEK TWINBLOK: El dispositivo anticaídas Irudek Twinblok es un ligero y robusto sistema de reposición automática en forma de Y, con cinta Technora®, de 21 mm de anchura y una longitud de 2 metros. Dispone de un innovador mosquetón/conector llamado Twinconnect en la parte superior para la fijación directa de los 2 Miniblok a la placa dorsal del arnés. El hecho de que esté conectado a la misma placa dorsal y no al punto de anclaje dorsal hace que el dispositivo anticaídas quede perfectamente integrado en el arnés, consiguiéndose que, en caso de caída, no exista posibilidad alguna de que el dispositivo anticaídas impacte con la cabeza del usuario. Asimismo, la integración del anticaídas en el arnés hace que el producto sea extremadamente cómodo y fácil de usar.

Figura 15: Novedad presentada por IRUDEK GROUP en SICUR 2016

4. NUEVA SIBOL, S.L.U. (Zamudio - Vizcaya): Empresa con más de 30 años de experiencia dedicada a la fabricación y comercialización de EPIS de tipo ocular, vías respiratorias, anticalórica, soldadura, etc.

http://www.sibol.es/

- Máscara de protección 9823 MVT: En este campo destacan los dos nuevos modelos de las máscaras de visión total MVT 982 y MVT 9823 con el novedoso sistema ROTOR que permite colocarse y quitar la máscara de visión total MVT 9823 de una manera cómoda y sencilla con una única mano. Ambas máscaras de visión total son de clase 3 y poseen un superior campo de visión (210º).

Figura 16: Novedad presentada por NUEVA SIBOL en SICUR 2016

5. PETZL ESPAÑA S.L. (Barcelona): Empresa multinacional con gama de productos tanto deportiva como profesional. Especialiados en cascos, arneses y frontales.

https://www.petzl.com/ES/es/Profesional

- Arnés anti caídas y de sujeción para trabajar en aerogeneradores, Volt Wind: Arnés anticaídas y de sujeción para trabajar en aerogeneradores, con punto de enganche para la progresión vertical por riel o por cable. El arnés anticaídas y de sujeción VOLT WIND es muy fácil de ponérselo gracias a su diseño EASYFIT: un chaleco mantiene la forma del arnés y hebillas automáticas FAST, en el cinturón y las perneras, permiten ponerse el arnés sin necesidad de levantar los pies del suelo. El diseño anatómico y el cinturón semirrígido y ancho del arnés VOLT WIND aseguran el confort durante todas las fases de trabajo. Está provisto de un punto de enganche LADDER CLIMB que permite conectar el dispositivo del anticaídas deslizante en posición ventral, asegurando así un confort óptimo durante las fases de progresión. Integra protecciones al nivel de la cintura y por debajo del punto dorsal para limitar el desgaste durante los desplazamientos por el interior de la torre del aerogenerador. Está certificado según las normas europeas y rusas.

Figura 17: Novedad presentada por PETZL en SICUR 2016

6. UNIVET, S.R.L. (Rezzato - Italia):

http://www.univet.it/

- Gafas de protección 14 6X3 X/GENERATION: El modelo 6X3 está diseñado para proporcionar una protección prolongada al combinar las mejores características de gafas panorámicas a las nuevas especificaciones de rendimiento nunca antes alcanzadas. La originalidad del dispositivo se nota en el diseño del soporte facial que asegura un calce adecuado para las máscaras y medias máscaras respiratorias y en el uso de la protección facial adicional que proporciona la protección total a la cara del operador. La posibilidad de usar gafas graduadas, el revestimiento exclusivo UDC y las lentes intercambiables ofrecen una gran versatilidad permitiendo el uso de este dispositivo en varias aplicaciones.

Figura 18: Novedad presentada por UNIVET en SICUR 2016

2.2 - SEGURIDAD INDUSTRIAL CON ELECTRÓNICA IMPRESA INTEGRADA

2.3.1 - Productos de seguridad integral susceptibles de integrar electrónica impresa

Basándose en el estudio anterior, se han seleccionado los productos que ya contienen elementos de electrónica impresa integrados o que, por las funcionalidades que ofrecen, serían susceptibles de hacerlo:

- Guantes o chalecos para policías, bomberos, operarios de cualquier tipo, etc.
- Sensores de ruido en cascos u otros elementos (cascos con vibración).
- Detectores de acceso (gente en recinto con humos, cuando pase un cierto tiempo que avise para salir, cuando quedes solo que avise de algo).
- Dispositivos de detección.
- Detectores de presencia.
- Lugares peligrosos.
- Control de presencia avisada por pisada (donde haya robots o demás).
- Zonas seguras.
- Elementos luminosos informativos.
- Sensores de fuga o derivaciones eléctricas.
- Camas o asientos que detecten movimiento.
- Sistema de Detección de EPIs permite detectar si los usuarios llevan las EPIs reglamentarias al entrar al en una zona de trabajo.
- Sistema de Seguridad industrial inalámbrico: diseñado especialmente para la utilización por operarios que trabajan con maquinaria en zonas de difícil control y comunicación, garantizando la activación de un procedimiento de seguridad y deteniendo la máquina o línea de producción en caso necesario.
- Pantallas táctiles en ropa.
- Guantes o chalecos con algunas funciones.
- Pulsera que guíe por dónde ir.
- Caretas con pantalla con información.
- Botas con sensores o vibración en zona peligrosa (prohibida).
- Detectores de peatones en zonas peligrosas.
- Casco con cámara térmica para ver entre el humo.

2.3.2 - Tendencias de mercado

Además de analizar los productos existentes, se han valorado las tendencias del mercado, que se caracteriza por estar siempre incorporando nuevas formas, técnicas, procedimientos y equipos para la protección de los trabajadores. Algunas de las tendencias del mercado son:

- Productos más confortables: Por lo general, los trabajadores utilizan equipos muy pesados e incómodos. Afortunadamente, la tecnología ha crecido tanto que el “peso” ya no es sinónimo de “protección”. Por ello, siempre se buscará ofertar productos cómodos, modernos y ligeros.

- Buen diseño: Otra de las ventajas de la tecnología es la posibilidad de ofertar mejores diseños de producto, estéticamente más atractivos, eficaces y personalizados.

Además de analizar los productos existentes, se han valorado las tendencias del mercado, que se caracteriza por estar siempre incorporando nuevas formas, técnicas, procedimientos y equipos para la protección de los trabajadores. Algunas de las tendencias del mercado son:

- Productos más confortables: Por lo general, los trabajadores utilizan equipos muy pesados e incómodos. Afortunadamente, la tecnología ha crecido tanto que el “peso” ya no es sinónimo de “protección”. Por ello, siempre se buscará ofertar productos cómodos, modernos y ligeros.

- Buen diseño: Otra de las ventajas de la tecnología es la posibilidad de ofertar mejores diseños de producto, estéticamente más atractivos, eficaces y personalizados.

- Materiales flexibles y modernos:
1. Uniformes profesionales y gafas protectoras: Uso de tejidos flexibles y mejor protección ocular.
2. Respiradores: Reducción de peso en los equipos de respiración asistida al tiempo que se vuelven más eficaces.
3. Guantes de seguridad: Mejoras en los materiales de los guantes, evitándose un número mayor de heridas provocadas por cortes, impactos.

- Integración de varios productos en uno: La ventaja de disponer de varios dispositivos en uno solo (cascos con máscara antigás incorporada, arneses con sistemas de detección incorporado…), es una idea enormemente atractiva para los usuarios habituales de EPIS.

Un EPI no sólo protege a los trabajadores sino que también les permite mantener un nivel constante de trabajo y una elevada productividad.

03. Diseño de EPIS con integración de electrónica impresa

En relación a la metodología de trabajo, cabe destacar que la aplicación secuencial de técnicas avanzadas de diseño (diseño inclusivo) y fabricación (electrónica impresa o flexible en este caso), supone un claro valor añadido a la hora de generar nuevos productos de manera integral.

La tarea inicial de diseño de nuevos productos debe estar regida por los parámetros del diseño para todos (a veces diseño inclusivo), término ("Universal Design") acuñado y definido por el arquitecto estadounidense Ronald L. Mace (1941-1998) y ratificado y matizado en la Declaración de Estocolmo del año 2004 en la cual se definió como objetivo principal del mismo hacer posible que todas las personas dispongan de igualdad de oportunidades para participar en cada aspecto de la sociedad, para lo cual el entorno construido, los objetos cotidianos, los servicios, la cultura y la información deben ser accesibles y útiles para todos los miembros de la sociedad y consecuente con la continua evolución de la diversidad humana. De esta manera, la sensibilidad a la hora de diseñar productos que respondan a las posibilidades del mayor porcentaje de población, debe ser considerado clave en todo desarrollo.

Con el objetivo de mostrar el potencial de la electrónica flexible en los EPIs, se ha planteado la realización del diseño conceptual de cuatro elementos diferenciados por su aplicación final, de los cuales se seleccionaron dos para su posterior desarrollo en detalle y fabricación de demostradores funcionales que integran electrónica impresa.

La selección de los casos de estudio se ha llevado a cabo teniendo en cuenta tanto la potencialidad de los productos para incorporar funcionalidades mejoradas basadas en electrónica impresa como también criterios relacionados con las tendencias identificadas en el sector. Además, se han evaluado aspectos asociados con la posible estrategia de protección de la propiedad industrial para los casos de estudio seleccionados, identificando riesgos y oportunidades en función de las patentes relevantes localizadas en el estado de la técnica.

Tras la identificación de los casos de estudio se ha llevado a cabo el diseño de concepto de cada uno de ellos, identificando en mayor grado los elementos que componen el EPI mejorado y el resto de requisitos técnicos que ha de cumplir.

Los demostradores seleccionados para su desarrollo en fase conceptual son los siguientes:

- Un chaleco salvavidas que incluya electrónica flexible, de tal forma que lleve adherida una tira de LEDs que se iluminen de un determinado color en función de alguna variable física de aquel que lo porte (frecuencia cardíaca, por ejemplo). Todo ello irá controlado a través de un microcontrolador incluido en el interior del mismo. Para cumplir con esta funcionalidad, el sistema incluirá un módulo de comunicaciones Bluetooth que permitirá comunicar el microcontrolador con los sensores de biometría correspondientes, permitiéndole actuar en consecuencia a los datos obtenidos.

Características y funcionalidades conceptuales del chaleco salvavidas:

- Sensor temperatura corporal y ritmo cardiaco.

- Llamada de auxilio.

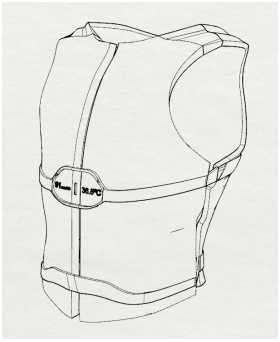
- Identificador de usuario, (cada trabajador tiene su chaleco).

- Iluminación de emergencia, para localización del trabajador.

- Iluminación del estado del trabajador.

- Localización GPS o señal de radio.

- Indicador carga de batería.



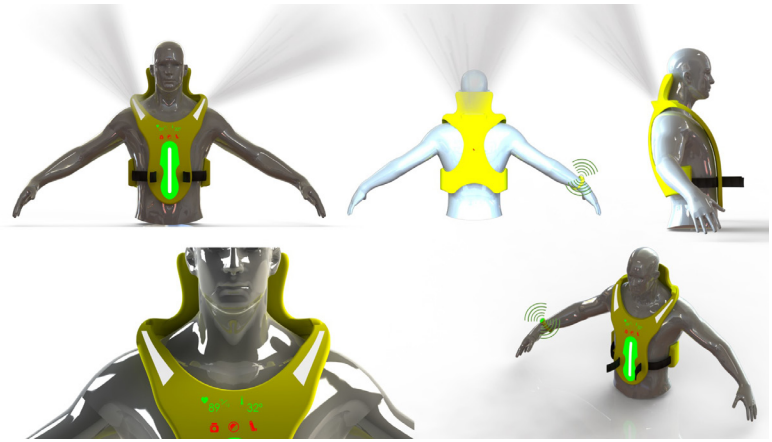


Figura 19: Propuesta de diseño conceptual chaleco salvavidas

• Un casco de protección que incluya LEDs en la visera del mismo de una forma similar a la anterior, tal que éstos cambien de color en función de la concentración de gases nocivos que pueda haber en el ambiente, recogida través de sensores de gases específicos situados en el frontal del mismo.

Características y funcionalidades conceptuales del casco con sensores integrados:

- Sensores de gas, CO, CO2, LPG, Gas Natural, metano, hidrógeno.

- Led iluminación alertas.

- Transmisión de alertas mediante vibración.

- Localización GPS o señal de radio.

- Indicador carga de batería.

Figura 20: Propuesta de diseño conceptual casco con sensores integrados

• Un arnés de seguridad que incluya sensores que recopilen información de uso y esfuerzos soportados para determinar con antelación fallos de seguridad y caducidad. La información se refleja en una pantalla flexible integrada en el propio arnés, así como, se transmite a un modulo central que procesa y almacena dicha formación.

Características y funcionalidades conceptuales del arnés de seguridad con sensores integrados:

- Sensores de tiempo de uso para medir los esfuerzos a los que se somete el arnés, indicador de caducidad.

- Sensor de esfuerzo máximo para determinar el desgaste producido por tirones producidos en caídas.

- Transmisión de información recogida por los sensores.

- Posicionamiento GPS o señal de emergencia con iluminación.

- Indicador carga de batería.

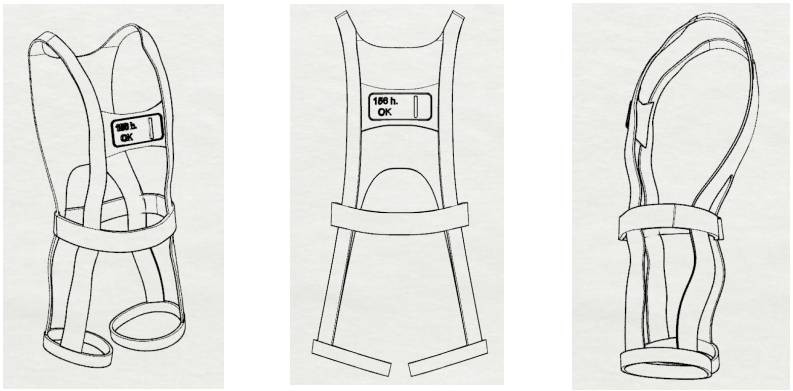


Figura 21: Propuesta de diseño conceptual arnés de seguridad

• Un brazalete multisensor que incluya sensores que recopilen tanto información del estado del propio usuario como de su entorno. La información de parámetros básicos se refleja en el brazalete y se transmite a un modulo central encargado de transmitir situaciones de peligro.

Características y funcionalidades conceptuales del brazalete multisensor:
- Indicador e identificador de EPIS necesarios para acceder a la zona de trabajo.
- Indicador de pulso cardíaco con señal de emergencia cuando las pulsaciones bajan de un límite preestablecido.
- Sensor de esfuerzo máximo para determinar el desgaste producido por tirones producidos en caídas.
- Botón de aviso de emergencia.
- Almacenamiento y transmisión de información recogida por los sensores.
- Indicador de vías de escape por vibración en condiciones de escasa visibilidad.
- Localización GPS o señal de radio (para localizaciones sin cobertura GPS).
- Indicador carga de batería.

Figura 22: Propuesta de diseño conceptual brazalete multisensor

Una vez realizadas las diferentes alternativas de diseño conceptual planteadas en la fase previa, se procedió a la selección de dos de ellas (chaleco salvavidas y casco) para su posterior desarrollo en detalle y fabricación de los demostradores, atendiendo a los requisitos funcionales y técnicos a cumplir.

- Chaleco salvavidas con funcionalidades que facilitan las tareas de rescate que incluye electrónica flexible, de tal forma que lleva adherida una tira de LEDs que se ilumina de un determinado color en función de constantes vitales del usuario (frecuencia cardíaca y temperatura corporal,). Junto con la función de indicar la posición del portador mediante señales lumínicas en condiciones de escasa visibilidad. Todo ello irá controlado a través de un microcontrolador incluido en el interior del mismo. Para cumplir con esta funcionalidad, el sistema incluirá un módulo de comunicaciones Bluetooth que permitirá comunicar el microcontrolador con los sensores de biometría correspondientes, permitiéndole actuar en consecuencia a los datos obtenidos.

Figura 23: Propuesta de diseño de detalle chaleco salvavidas

- Casco que incluye electrónica flexible, de tal forma que lleva adherida una tira de LEDs bajo la visera que se ilumina en modo de emergencia en función de los valores de concentración de determinados gases nocivos (CO, CO2, LPG, Gas Natural, metano, hidrógeno) presentes en el entorno de trabajo del usuario que lo porta. Las mediciones de concentraciones de gases es realizada por sensores específicos situados en el frontal del casco.

Figura 24: Propuesta de diseño de detalle casco con sensores integrados

El diseño y la fabricación de dispositivos se ha llevado a cabo siguiendo los siguientes pasos:

- Diseño en detalle de productos basado en principios de diseño inclusivo y análisis de las últimas tendencias tecnológicas del sector de la seguridad industrial.
- Diseño del circuito eléctrico que permita la incorporación de las funcionalidades deseadas en los productos.
- Fabricación del circuito: incluyendo impresión de pistas conductoras, sinterizado, colocación y adhesión de componentes rígidos (microprocesadores, baterías, etc).
- Integración en componente y validación.

04. Casos prácticos

4.1 - CHALECO SALVAVIDAS

4.1.1 - Diseño del circuito

A partir de las especificaciones deseadas para el chaleco salvavidas se ha llevado a cabo el diseño del circuito que permita implementar las funcionalidades de iluminación variable (roja o verde) y posibilidad de conectar por Bluetooth a módulo externo que envíe las señales para activar un color u otro. La conexión a una pulsera de monitorización de ritmo cardiaco permitiría programar el circuito para que los LEDs se iluminaran en verde o rojo según se detectara o no ritmo cardiaco en el usuario, de cara a priorizar operaciones de salvamento.

En la Tabla 2 se recogen los principales componentes elegidos para la realización del circuito. Cada uno de ellos ha de conectarse al circuito según sus propias especificaciones técnicas.

NOMBRE DE COMPONENTE	TIPO DE COMPONENTE
ATMEGA328P	Microcontrolador de 8 bits
AMB2300	Módulo Bluetooth
WS2812	LED RGB

Tabla 2: Principales componentes del circuito del chaleco salvavidas

La elección de estos componentes concretos presenta la ventaja de que pueden alimentarse con facilidad mediante una batería estándar de ión-Litio de 3.7V, lo que facilita la modularidad del sistema.

El esquema de conexión desarrollado se muestra en la siguiente figura.

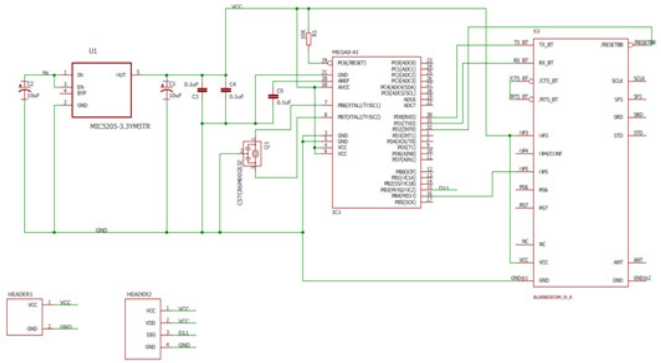


Figura 25: Esquemático de conexión del circuito diseñado

Una vez realizado el diseño esquemático se llevó a cabo el diseño del circuito impreso que posteriormente se implementará sobre sustrato flexible. Se intentó simplificar al máximo el diseño, evitando para ello el empleo de planos de masa.

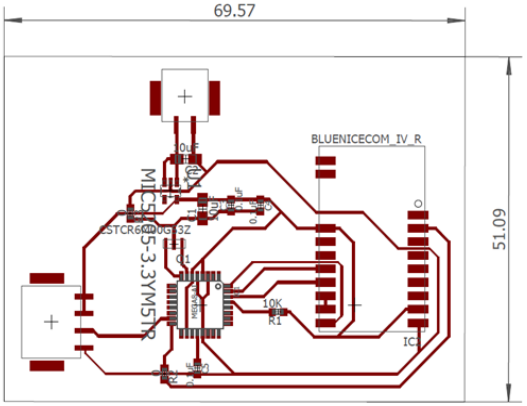


Figura 26: Diseño del circuito final a imprimir

4.1.2 Impresión y sinterizado del circuito

Tras el desarrollo del circuito se pasó a la fase de impresión sobre sustrato flexible. El método de impresión fue el de serigrafía plana. Se llevó a cabo la selección de los materiales más adecuados: film de PET (Mylar) como sustrato, y pasta conductora de plata, y se fabricó una pantalla de serigrafía con el patrón deseado, escogiendo los parámetros de la pantalla más adecuados para lograr una impresión óptima según las características de los materiales.

Finalmente se ajustaron los diferentes parámetros del proceso de impresión como altura de la pantalla sobre el sustrato, velocidad y presión de la rasqueta y se procedió a imprimir y posteriormente curar las pistas impresas.

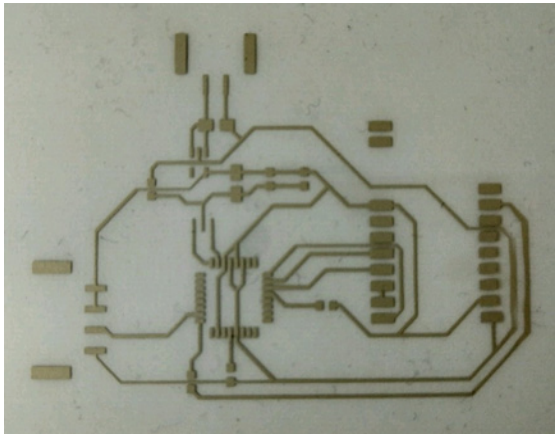


Figura 27: Circuito impreso tras proceso de impresión y sinterizado

4.1.3 Colocación de componentes

La colocación de componentes en la placa impresa se llevó a cabo empleando el robot pick & place integrado en la línea de fabricación roll to roll.

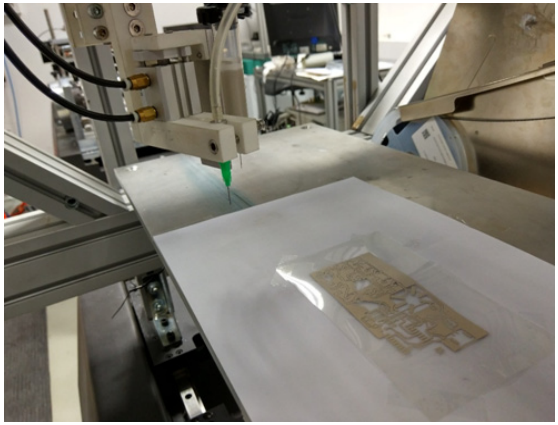


Figura 28: Robot pick&place preparado para colocar un componente

Para que los componentes queden adecuadamente fijados, es necesario emplear un adhesivo conductor que permita que éstos queden unidos al circuito, tanto mecánica como eléctricamente. El adhesivo se puede dispensar también utilizando el propio robot pick&place.

El curado de los adhesivos se realiza térmicamente, pudiendo utilizarse distintas tecnologías como horno de curado, hotbed o curado fotónico. Tras este proceso, los componentes quedan adecuadamente fijados al circuito.

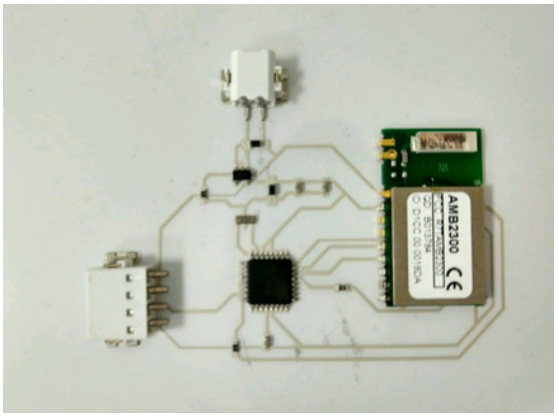


Figura 29: Circuito flexible con los componentes colocados

4.1.4 Aumento de rigidez

El circuito obtenido tiene un grado elevado de flexibilidad, y puede doblarse sin problema a ángulos extremos sin que los componentes más pequeños (resistencias, condensadores, LEDs…) sufran por ello. Sin embargo, la presencia de componentes con un gran número de patillas (como el microcontrolador) o de gran tamaño en comparación al resto de elementos (módulo Bluetooth, header de la batería) hacen que sea necesario dotar al circuito de mayor rigidez localmente para proteger estos elementos de posibles daños por flexión durante la integración de los elementos en los prototipos finales.

Para ello se valoraron diversos materiales a emplear, seleccionando el metacrilato como sustrato adicional adecuado para la protección de los componentes más críticos.

4.1.5 Validación

Una vez fijados todos los componentes del circuito es necesario realizar diversas pruebas de funcionamiento para validar el componente antes de integrarlo en el demostrador. Se verifica el funcionamiento correcto de los LEDs, la comunicación Bluetooth con módulo externo y la respuesta a las órdenes enviadas mediante el cambio de color.

Figura 30: Prueba del circuito previa a su integración en el chaleco salvavidas

4.1.6 Integración en prototipo final

La integración del circuito en el chaleco salvavidas se ha realizado dejando parte del circuito visto para que pueda servir como expositor de la tecnología. En un producto final toda la electrónica quedaría totalmente encapsulada e integrada bajo la tela del chaleco.

Figura 31: Chaleco salvavidas con alarmas luminosas

4.2 CASCO CON DETECTORES DE GASES

4.2.1 - Diseño del circuito

De la misma forma que para el chaleco, el primer paso es el diseño del circuito electrónico que llevará el casco para la detección de gases nocivos y el encendido de alarmas luminosas según las condiciones detectadas. Por especificaciones de diseño, se emplearán dos sensores de gases colocados en sendos laterales del mismo, los cuales serán controlados mediante un microcontrolador similar al utilizado en el demostrador del chaleco.

NOMBRE DE COMPONENTE	TIPO DE COMPONENTE
ATMEGA328P	Microcontrolador de 8 bits
MQ135	Sensor de gases CO2
WS2812	LED RGB

Tabla 3: Principales componentes del circuito del casco con detectores de gases

Se ha seleccionado para el prototipo demostrador un sensor de CO2 pero cualquier otro sensor comercial de los disponibles valdría para probar el funcionamiento básico (encendido de los LEDs) del sistema.

En este caso, la alimentación eléctrica del sistema es diferente a la del caso anterior, debido a que la tensión de trabajo de los sensores es de 5V. Por ello, es necesario emplear baterías de ión-Litio de 7.4V, o bien dos baterías de 3.7V colocadas en serie con el objetivo de aumentar el voltaje hasta el necesario. Para futuras modificaciones del diseño se recomienda el empleo de un convertidor Boost de continua que permita trabajar con únicamente una batería de 3.7V de mayor tamaño al poder ocuparse más volumen (no sería necesario colocar dos en serie), lo que permitirá que también tenga mayor capacidad.

El esquema del diseño mencionado se muestra en la siguiente figura.

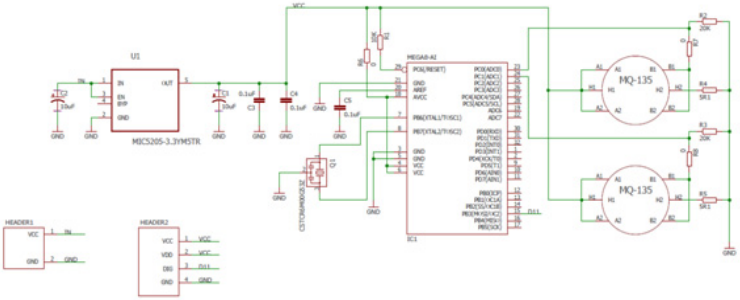


Figura 32: Esquemática del circuito diseñado para el casco

Posteriormente se ha diseñado el circuito impreso según este esquema. Como restricción del diseño, se ha dejado una distancia específica entre sensores para poder adaptarlo adecuadamente a las condiciones establecidas por el diseño físico del casco.

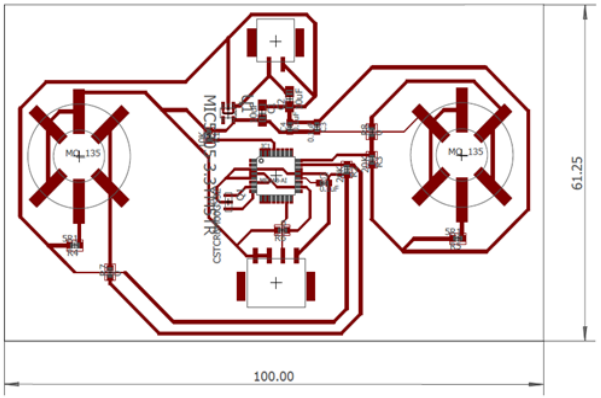


Figura 33: Diseño del circuito impreso del casco

4.2.2 Impresión del prototipo

Al igual que para el desarrollo del chaleco, el circuito del casco se imprimió mediante el método de la serigrafía plana, utilizando los mismos materiales y procesos que en el caso anterior.

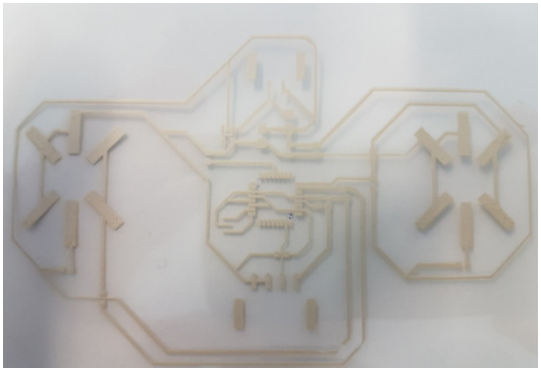


Figura 34: Circuito impreso tras proceso de serigrafía

4.2.3 Colocación de componentes

Al igual que en el caso anterior, la colocación de componentes en el circuito del casco se realizó mediante el uso de la herramienta de pick & place, obteniendo el resultado mostrado en la siguiente figura.

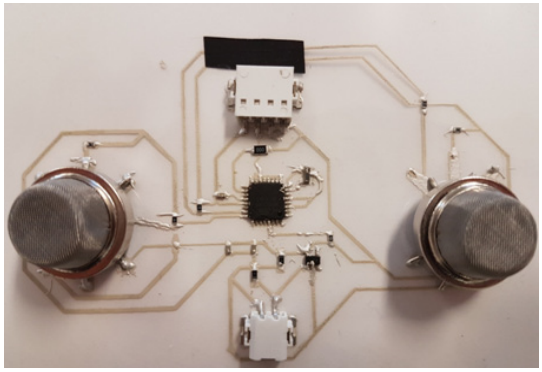


Figura 35: Circuito flexible con los componentes colocados

4.2.4 Validación

Con todos los componentes del circuito ya colocados se procedió a realizar las pertinentes pruebas de funcionamiento, mostrando el funcionamiento correcto del sistema previo a su integración en el casco.

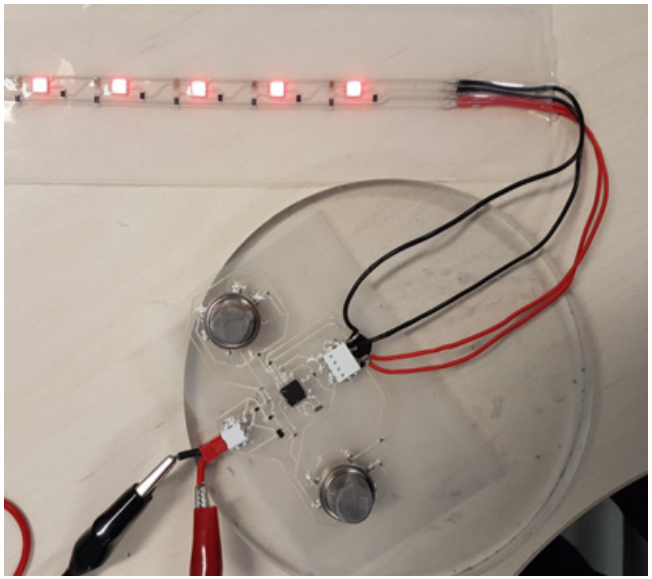


Figura 36: Prueba del circuito final

4.2.5 Integración en prototipo final

Para la integración del circuito en el casco se diseñó y fabricó una carcasa para alojar la batería. El circuito con los sensores de gas se dejó a la vista en el frontal de casco de forma que el producto pueda servir como expositor de la tecnología. La tira de LEDs se integró en la visera del casco, para que pueda ser vista por el usuario y ser así advertido de posibles concentraciones nocivas de gases. El resultado final se muestra en la siguiente figura:

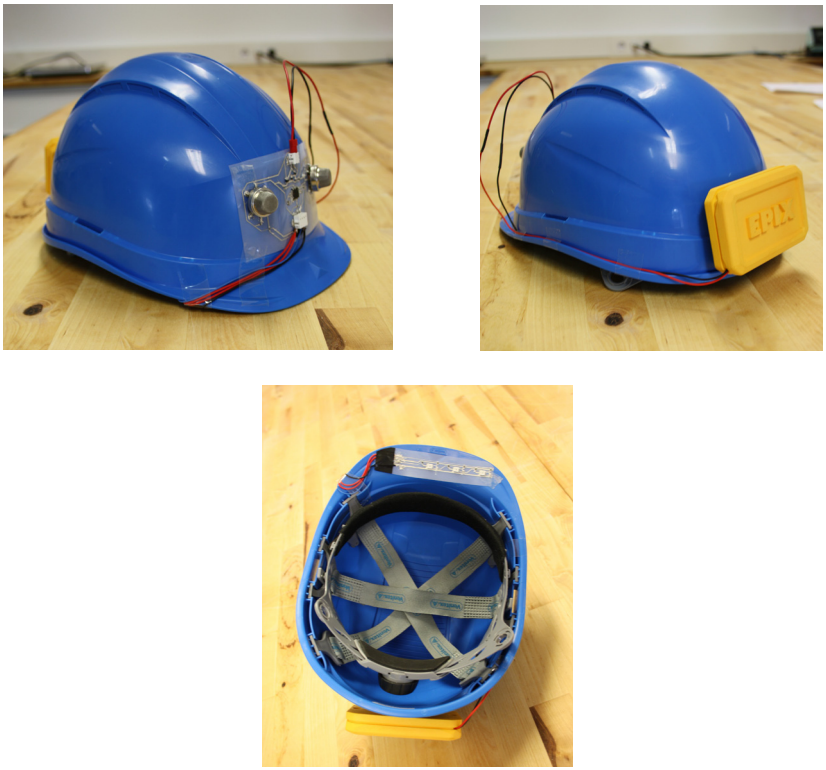


Figura 37: Prototipo final de casco con sensores de gases

05. Bibliografía

Bibliografía

N. L. Cameron, “Ink-Jet Printing”, Chapter 25 in Coatings Technology Handbook, Third Edition. Edited by Arthur A. Tracton, CRC Press Taylor & Francis Group (2006).

D. González, P. Queipo, P. Sánchez-Friera et al, “Development of a high-throughput roll-to-roll production platform for the micro-manufacturing and assembly of lighting devices”, Proceedings of 4M Conference, San Sebastián, Spain (2013).

F. A. Goossens, “Rotary screen”, Chapter 22 in Coatings Technology Handbook, Third Edition. Edited by Arthur A. Tracton, CRC Press Taylor & Francis Group (2006).

C. Hill, “Wearables – the future of biometric technology?”, Biometric Technology Today, Volume 2015, Issue 8, 5-9 (2015).

A Hudd, “Inkjet Printing Technologies”, Chapter 1 in The Chemistry of inkjet inks, World Scientific Publishing Co. (2009).

D. M. MacLeod, “Wire-wound rod coating”, Chapter 18 in Coatings Technology Handbook, Third Edition. Edited by Arthur A. Tracton, CRC Press Taylor & Francis Group (2006).

T. B. McSweeney, “Screen printing”, Chapter 23 in Coatings Technology Handbook, Third Edition. Edited by Arthur A. Tracton, CRC Press Taylor & Francis Group (2006).

J. Park, H. A. Duc Nguyen, S. Park, J. Lee, B. Kim, D. Lee, “Roll-to-roll gravure printed silver patterns to guarantee printability and functionality for mass production”, Current Applied Physics, Volume 15, Issue 3, pp 367-376 (2015).

S. Park, Y. Xiong, R. Kim, P. Elvikis et al, “Printed assemblies of inorganic light-emitting diodes for deformable and semitransparent displays”. Science 325 (2009) 977.

R. R. Søndergaard, “Roll-to-Roll fabrication of large area functional organic materials”, J. of polymer science Part B: Polymer Physics (2013), 51, 16–34.

F. Torrisi et al, “Inkjet printed graphene electronics”, ACS NANO, vol. 6, No. 4, 2992-3006 (2012).

J. van den Brand, R. Kusters, M. Barink, A. Dietzel, “Flexible embedded circuitry: A novel process for high density, cost effective electronics”. Microelectronic Engineering 87 (2010) 1861-1867.

L. Van Langenhove, “Smart textiles for medicine and healthcare. Materials, systems and applications”, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England (2007).

L. van Langenhove, “Smart textiles for protection: an overview”, Chapter 1 in Smart Textiles for Protection, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England (2013).

M. P.C. Watts, “Advances in roll-ro-roll processing”, Impattern Solutions (2007).

J. West, M. Carter, S. Smith and J. Sears, “Photonic sintering of silver nanoparticles: comparison of experiment and theory”, Chapter 8 in Sintering Methods and Products, Edited by Volodymyr Shatokha, InTech, (2012).

W.S. Wong, “Flexible Electronics: Materials and Applications”. Springer (2009).